

УДК 911.2(574.2)

А.В. Хорошев¹, К.А. Ткач², Д.У. Муртазина³

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СТЕПНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Обоснована конструктивность представления об эмерджентных эффектах, возникающих в результате взаимодействия ландшафтных единиц при сельскохозяйственном планировании. Проверена гипотеза о значимости пропорции доминантных и субдоминантных урочищ полевого участка для урожайности зерновых культур и их межгодовой динамики. Для двух участков в поясе умеренно засушливых степей Северного Казахстана исследованы результаты синергического взаимодействия плоских поверхностей, западин, ложбин с формированием того или иного уровня грунтовых вод, обеспечивающим избыточную, оптимальную или недостаточную влагообеспеченность. Рассчитаны коэффициенты корреляции между урожайностью и долей каждого вида субдоминантного урочища за сухие и влажные годы, установлена зависимость величин урожайности и ее изменчивости от классов ландшафтной структуры. Наличие западин на плоских поверхностях обеспечивает накопление влаги и диффузию ее на примыкающие урочища, что способствует повышению урожайности в засушливые годы, но может понижать ее во влажные годы. Повышенная доля ложбин на слаболопых склонах вызывает отток дефицитной влаги и элементов минерального питания в весенний период и способствует снижению урожайности в засушливые годы. Мозаичность ландшафтной структуры на полях с повышенной долей западин или ложбин способствует росту межгодовой изменчивости урожайности.

Ключевые слова: степь, ландшафт, пространственная структура, пропорции, урожайность, изменчивость, влажность.

Введение. Вопрос о связи между пространственной структурой ландшафта и урожайностью представляет практический интерес для сельскохозяйственной науки и фундаментальный – для ландшафтоведения. В сельскохозяйственной литературе подробно освещается влияние рельефа на урожайность. Как правило, основное внимание уделяется либо варьированию урожайности в зависимости от принадлежности поля к форме мезорельефа и ее соларной экспозиции [Половинко, 2010; Шарый с соавт., 2011; Абдулвалеев, Троц, 2015], либо варьированию урожайности внутри поля, неоднородного по микрорельефу [Внутрипольная ..., 2000; Шпедт, Никитина, 2008; Капустянчик, Добротворская, 2011; Капустянчик, 2014]. Внутрипольная неоднородность подробно исследуется в связи с организацией точного земледелия [Усовершенствованные ..., 2010]. Обращается внимание, что закономерность зависимости урожайности от рельефа и структуры почвенного покрова неодинакова в годы с разными погодными условиями, для степной зоны, прежде всего, – в зависимости от увлажнения [Якушева, 2013]. Для засушливых условий установлено, например, что в ложбинах урожайность увеличивается в сухие годы, но уменьшается во влажные [Шпедт, Пурлаур, 2008]. Для черноземной зоны выявлено различие режима влажности в течение вегетационного периода в дренируемых и слабодренируемых понижениях: последние сохраняют влагу в течение всего сезона [Куст с соавт., 2010].

Для снижения рисков, порождаемых неоднородностью почвенно-геоморфологических условий, была разработана концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе [Каштанов, 1992; Лопырев, 1995]. В адаптивно-ландшафтной системе земледелия проблема неоднородности почвенного покрова внутри больших полей и сопутствующей пестроты урожайности решается двумя способами: выведением контрастных участков в иной тип использования или дифференциацией технологий применительно к участкам с различными условиями в границах одного производственного поля; предлагается изменение границ полей в соответствии с границами агроэкологических групп земель [Кирюшин, 2011; Власенко, Добротворская, 2013]. С другой стороны, монотонность ландшафта благоприятствует «разгоняющимся» потокам ветра и воды и, как следствие, развитию эрозии и дефляции при распашке, что вынуждает разрабатывать специальные системы технологических мер (например, [Бараев с соавт., 1963]).

Критерии рациональной пространственной организации угодий не вполне совпадают в науке о ландшафте и в земледелии. С точки зрения ландшафтного планирования оптимальная пространственная организация землепользования должна максимально соответствовать ландшафтной структуре [Хорошев, 2012]. Единый способ землепользования предпочтительно выбирать для морфологической еди-

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, докт. геогр. н.; e-mail: avkh1970@yandex.ru

² Международный научный комплекс «Астана», г. Астана, Казахстан, мл. науч. с.; e-mail: karinatkach@mail.ru

³ Университет Теннесси, Ноксвилль, США, аспирант; e-mail: murtazinadiliya@gmail.com

ницы ранга урочища или подурочища. С точки зрения земледелия оптимальные размеры полевых участков нередко превышают размеры урочищ и вынуждены охватывать целый ряд урочищ, существенно различных по плодородию, например – плоскую водораздельную поверхность, склон долины, делювиальный шлейф и террасу. С другой стороны, внутриурочищное разнообразие может создавать помехи для корректного расчета урожайности, норм внесения удобрений, затрат горючего и т. д.

Получается, на первый взгляд, что на применимость ландшафтной информации к сельскохозяйственному планированию накладываются серьезные ограничения. Однако конструктивное значение ландшафтоведения не сводится только к выявлению границ урочищ и подурочищ. *Цель данного исследования* – обосновать значимость эмерджентных эффектов, возникающих в результате взаимодействия ландшафтных единиц, для сельскохозяйственного планирования. В качестве эмерджентного эффекта в данном случае рассматривается урожайность сельскохозяйственных культур на полевых участках. По нашей гипотезе, она определяется не только свойствами рельефа и почв, но и особыми свойствами, которые не присущи каждому пространственному элементу по отдельности, а возникают только как следствие их взаимодействия между собой. Например, определенная пропорция и взаиморасположение урочищ или фаций с вогнутым, выпуклым и ровным рельефом может контролировать целый ряд эмерджентных свойств геосистемы более высокого ранга: уровень грунтовых вод, распределение снежного покрова, распределение температур, жизнеспособность популяций животных (как «вредных» для сельскохозяйственных культур грызунов, так и контролирующих их численность «полезных» хищников).

Перечисленные проблемы, хорошо известные в земледелии, перекликаются с одной из наиболее важных фундаментальных проблем, находящихся в сфере интересов и компетенции ландшафтоведения как науки о природных системах. Выявление эмерджентного эффекта, по мнению авторов, составляет «привилегированную» задачу ландшафтоведения в сравнении, например, с задачами агропочвоведения и агрохимии, которые в большинстве случаев вполне могут обойтись без привлечения ландшафтоведческой информации при определении пригодности земель для той или иной культуры и выборе приемлемых технологий. Ландшафтоведение же со своей стороны должно давать оценки земель, определяемые пропорциями, взаиморасположением, конфигурацией, размерами соседствующих ландшафтных комплексов внутри полевого участка или сельскохозяйственного предприятия.

Исходное теоретическое положение заключается в следующем. Свойства пространственной единицы ландшафта являются результатом синергизма во взаимодействиях группы ее пространственных элементов, упорядоченных в разные типы ландшафтных структур. Для того чтобы установить наличие

эмерджентного эффекта необходимо иметь данные измерения одного и того же показателя, отнесенного к единице площади, но при репрезентативном ряде разнообразных сочетаний пространственных элементов внутри этой площади. Удобным объектом являются измерения урожайности на полевых участках примерно одинакового размера в пределах генетически единого ландшафта с резким доминированием плоских водораздельных поверхностей, но с варьирующим в пространстве набором субдоминантных урочищ. Предполагается, что и межгодовая изменчивость урожайности зерновых культур также может зависеть от пропорции доминантных и субдоминантных фаций в пределах полевого участка.

Задача исследования – проверить гипотезу о значимости внутриполевой ландшафтной структуры для урожайности зерновых культур и их межгодовой динамики. Предполагается, что наличие субдоминантных урочищ (западин, ложбин, солонцов) оказывает влияние на урожайность примыкающих к ним или расположенных на них полей.

Материалы и методы. Исследование проведено для двух участков в поясе умеренно засушливых степей Северного Казахстана, расположенных в Костанайской и Акмолинской областях (рис. 1).

В Костанайской области участок «Перелески» расположен в Денисовском районе на территории ТОО «Сарыагаш», которое предоставило данные по урожайности зерновых культур за 2006–2012 гг. в пределах каждого поля (всего 60 полей). Участок расположен в восточной части Зауральской засушливой степной равнинной области в ландшафте озерно-аллювиальной плоской, местами волнистой равнины, с озерными котловинами, сложенной лессовидными суглинками и глинами, с разнотравно-красноковыльной растительностью на черноземах южных солонцеватых с луговыми почвами. Основную массу травостоя нераспаханных участков (в большинстве случаев до 10% площади полевого участка, изредка – до 30%) составляют ковыль Лессинга, ковыль тырса, ковыль красный, тонконог стройный, типчак, полны австрийская и белая. К пониженным участкам, где грунтовые воды находятся на глубине 3–6 м, приурочены черноземы луговые и лугово-черноземные почвы под разнотравно-ковыльно-типчakovыми и пырейными сообществами. Солонцы и темно-каштановые лугово-черноземные почвы редко залегают сплошными массивами, являются составными частями комплексов, состоящих из различных типов почв.

Урожайность зерновых составляет в среднем 14,7 ц/га с варьированием по годам от 9 до 23 ц/га. Урожайность 10 ц/га считается вполне приемлемой. Хозяйство применяет четырехпольный севооборот (поля по 570 га): пар – яровая пшеница – однолетние бобовые или бобово-злаковые на сено и зерно – яровая пшеница.

В Акмолинской области исследование проведено для модельного участка «Капитоновка» на территории Буландинского района (сельхозформирование Журавлевка-1). Сельхозформирование предос-

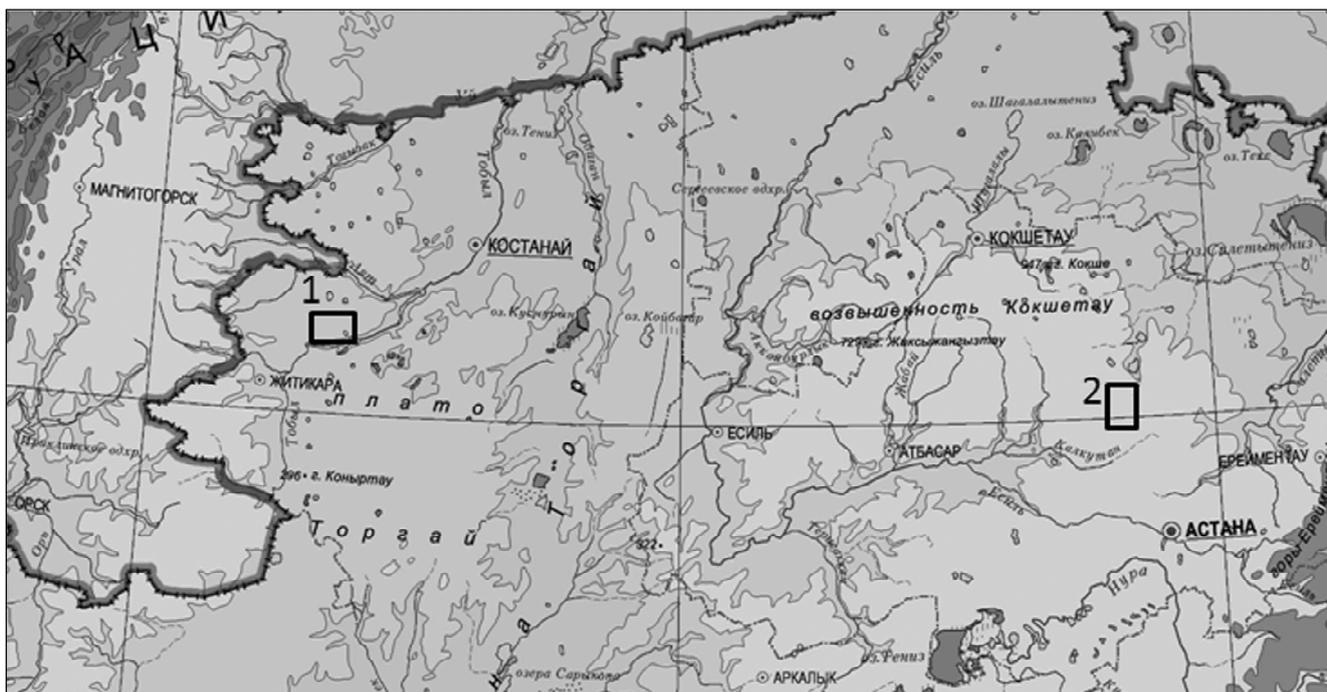


Рис. 1. Положение участков исследования: 1 – «Перелески», Костанайская область; 2 – «Капитоновка», Акмолинская область

Fig. 1. Location of study areas: 1 – «Pereleski», Kostanay region; 2 – «Kapitonovka», Akmolinsk region

тавило данные по урожайности зерновых культур за пять лет (2009–2013 гг.) в пределах каждого поля (всего 78 полей). Территория принадлежит ландшафту озерно-аллювиальной слабодисселированной равнины, сложенной глинами, перекрытыми четвертичными желто-бурыми лёссовидными суглинками, на черноземах южных карбонатных тяжелосуглинистых, в прошлом – под разнотравно-красноковыльной степью. На слабополгих склонах имеют небольшое распространение черноземы малогумусные карбонатные тяжелосуглинистые хрящеватые. По западинам, образующим пятнистый рисунок, встречаются лугово-черноземные тяжелосуглинистые почвы. На восьми полях присутствуют нераспахиваемые западины, занимающие от 0,5 до 4% площади поля, на 11 полях – распахиваемые (от 0,1 до 12% площади). Пологие склоны долин местами прорезаны неглубокими ложбинами; только на трех полях они остаются нераспаханными (3, 10 и 20% площади поля соответственно), а на 44 полях распахиваются (0,1–15%). Средняя урожайность пшеницы по хозяйству 13,4 ц/га с варьированием по годам от 8 до 22 ц/га.

Проверялась гипотеза о синергическом взаимодействии доминантных и субдоминантных фаций с формированием того или иного уровня грунтовых вод, обеспечивающим избыточную, оптимальную или недостаточную влагообеспеченность. Исследована серия полевых участков, отличающихся по доле суффозионных западин на плоских междуречных поверхностях, либо эрозионных ложбин на слабополгих склонах.

По данным личных наблюдений авторов, почвенной и топографической карты, интервью с аг-

рономами хозяйств, материалам дешифрирования и классификации многоканальных космических снимков были созданы карты урочищ. Для уточнения содержания контуров произведен расчет индекса NDVI, отражающего продуктивность, которая в степных условиях тесно связана с режимом увлажнения и засоленности.

Для каждого из двух участков проверялись гипотезы о зависимости урожайности пшеницы от доли площади полевого участка, занятого субдоминантными урочищами на фоне доминантных урочищ плоской озерно-аллювиальной равнины. Для участка «Перелески» рассматривались следующие виды субдоминантных урочищ: кластеры западин с периодическим переувлажнением; западины с галофитной растительностью на солонцах; западины с лугами; западины с лугами, осложненными заболоченными микрозападинами; бугры. Для участка «Капитоновка» рассматривались урочища ложбин и замкнутых западин. Часть мелких субдоминантных урочищ при ведении посевных работ распахивается.

Средствами программы Statistica 7.0 рассчитаны параметрический (Пирсона) и непараметрический (Спирмена) коэффициенты корреляции между урожайностью и долей каждого вида субдоминантного урочища за каждый год.

Методом к-средних и вручную все полевые участки объединены в несколько классов по соотношению доминантных и разнотипных субдоминантных урочищ для проверки гипотезы о зависимости урожайности не только от доли субдоминантных урочищ конкретного вида, а от эмерджентного эффекта их взаимодействия (см. подписи к рис. 2).

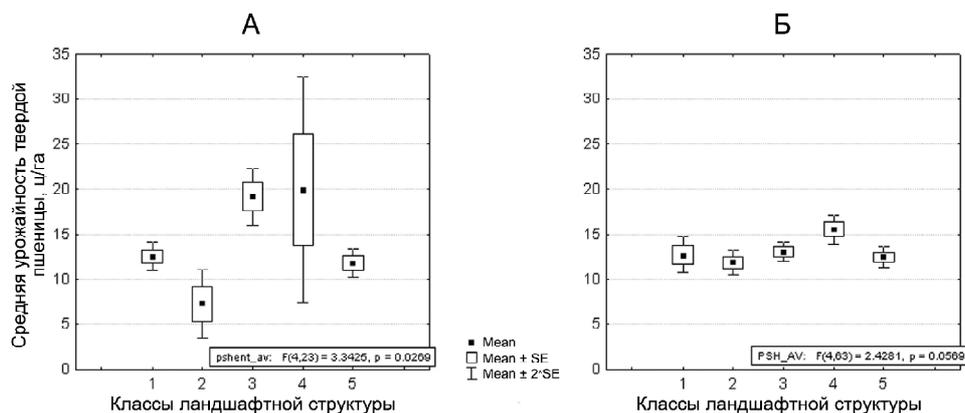


Рис. 2. Варьирувание среднемноголетней урожайности твердой пшеницы в зависимости от ландшафтной структуры полевых участков: А – «Перелески», классы структуры: 1 – повышенная доля солонцовых западин; 2 – высокая доля плоских поверхностей при повышенной доле солонцовых западин; 3 – максимальная доля плоских поверхностей при небольшой доле переувлажненных западин; 4 – максимальная доля переувлажненных западин; 5 – максимальная доля солонцовых западин; Б – «Капитоновка», классы структуры: 1 – максимальная доля ложбин, минимальная – западин; 2 – высокая доля ложбин при отсутствии водосборных понижений, с небольшой долей западин; 3 – повышенная доля ложбин и водосборных понижений с небольшой долей западин; 4 – максимальная доля западин и водосборных понижений; 5 – плоские поверхности

Fig. 2. Variability of durum wheat average productivity depending on landscape pattern within a field. А – «Pereleski», pattern classes: 1 – larger proportion of solonets depressions; 2 – high proportion of flat surfaces with larger proportion of solonets depressions; 3 – maximum proportion of flat surfaces with low proportion of humid depressions; 4 – maximum proportion of humid depressions; 5 – maximum proportion of solonets depressions. Б – «Kapitonovka», pattern classes: 1 – maximum proportion of narrow gullies, minimum of depressions; 2 – high proportion of narrow gullies, absence of drained depressions, low proportion of non-drained depressions; 3 – larger proportion of narrow gullies and drained depressions with low proportion of non-drained depressions; 4 – maximum proportion of non-drained and drained depressions; 5 – flat surfaces

Для проверки гипотезы о влиянии ландшафтной структуры на изменчивость урожайности полевые участки разделены на классы стабильности: 1 – поля с урожайностью устойчиво выше средней по хозяйству; 2 – поля с высокой изменчивостью от года к году; 3 – поля с устойчиво средней урожайностью, никогда не достигающей максимальных или минимальных значений по хозяйству; 4 – поля с урожайностью устойчиво ниже средней, в некоторые годы минимальной, по хозяйству. Таким способом оценивалась степень вовлеченности исследуемой пространственной единицы в процессы, характерные для геосистемы вышестоящего ранга, в зависимости от условий года, то есть оценена межгодовая устойчивость межуровневых связей.

Выдвинутые гипотезы о причинах изменчивости урожайности проверялись путем построения регрессионных и дисперсионных моделей. В первом случае в качестве зависимых переменных выступала урожайность конкретного года; в качестве независимых – доли субдоминантных урочищ. В случае дисперсионного анализа как группирующие переменные использовались классы пространственной структуры или стабильности урожая.

Результаты. Для участка «Перелески» зависимость урожайности от доли доминантных урочищ плоских водораздельных поверхностей выявлена для твердой пшеницы в отдельные годы. Например, положительная зависимость проявлялась в умеренно влажном и умеренно холодном 2007 г. с коэффициентом корреляции Спирмена (ККС) 0,57. При доле доминантных плакорных урочищ менее 60% исклю-

чена урожайность выше 14 ц/га, что позволяет считать такую долю критическим значением. Для мягкой пшеницы доля доминантных урочищ не имеет определяющего значения: на урожайность влияют факторы, не связанные с ландшафтной структурой – внесение удобрений, микрорельеф, способы обработки почвы и т. п.

Установлена прямая положительная связь между долей луговых суффузионных западин и урожайностью. В сухом и очень теплом 2008 г. урожайность твердой и мягкой пшеницы близкая к среднемноголетней (12–14 ц/га) наблюдалась только на полях с повышенной (5–25%) долей луговых западин; поля без луговых западин дали более низкую урожайность 4–11 ц/га; ККС 0,36 (рис. 3, А). В прохладном и влажном 2011 г. урожайность на полях с луговыми западинами – 26–30 ц/га, то есть существенно выше средней по хозяйству. В экстремально жарком и сухом 2010 г. поля с западинами имели урожайность мягкой пшеницы не ниже 8 ц/га (выше средней для года по хозяйству), поля без западин 4–7 ц/га.

Гипотеза о зависимости урожайности от доли солонцовых западин была подтверждена для твердой пшеницы: присутствие солонцов снижает урожайность (ККС –0,55; выше среднемноголетней (14 ц/га) она может быть только при их отсутствии (рис. 3, Б). Для мягкой пшеницы, при отсутствии достоверной зависимости от доли солонцовых западин, повышенной урожайностью выделяются поля, расположенные в западной части территории, где в почвенных комплексах доля солонцов понижена. Наиболее высокая урожайность (19 ц/га и бо-

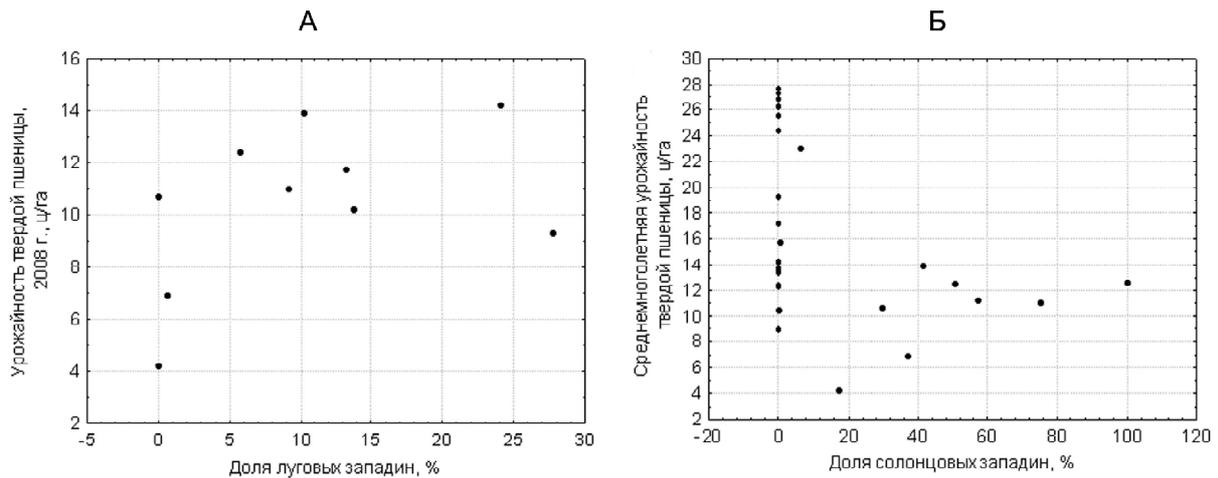


Рис. 3. Зависимость урожайности твердой пшеницы от доли урочищ луговых западин (А) и от доли солонцовых западин (Б) на полевым участке «Перелески», Костанайская область

Fig. 3. Dependence of durum wheat productivity on the proportion of meadow depressions (А) and solonets depressions (Б) within a field «Pereleski», Kostanay region

лее) характерна для полевых участков с преобладанием доминантных урочищ и кластеров западин с периодическим переувлажнением, западин с лугами, осложненными заболоченными микрозападинами (рис. 2, А). Понижена урожайность твердой пшеницы обычно при повышенной доле солонцовых урочищ.

Анализ ландшафтной структуры для классов стабильности показал, что поля с устойчиво высокой урожайностью выделяются минимальной долей заболоченных западин. Группа полей с устойчиво низкой урожайностью, наоборот, характеризуется повышенной долей заболоченных западин. Доля солонцовых и луговых западин не влияет на изменчивость урожайности во времени.

Для участка «Капитоновка» в сухом и очень теплом 2012 г. при повышенной доле западин и во-

досборных понижений исключалась урожайность ниже 10 ц/га (рис. 4, А), но урожайность падала с увеличением доли ложбин при ККС $-0,29$ (рис. 4, Б). Повышенная урожайность была характерна для полей с большой долей западин, минимальная – с малой долей западин и отсутствием водосборных понижений (рис. 2, Б). Анализ совместной встречаемости классов стабильности урожайности и классов пространственной структуры показал следующее. Из 67 полей почти половина (30) характеризуется высокими колебаниями урожайности, то есть в зависимости от погодных условий конкретного года урожайность может быть как существенно ниже, так и существенно выше средней по хозяйству. Только 7 полей во все годы имели урожайность существенно выше средней. Наибольшая встречаемость полей с высокой урожайностью наблюдается при мо-

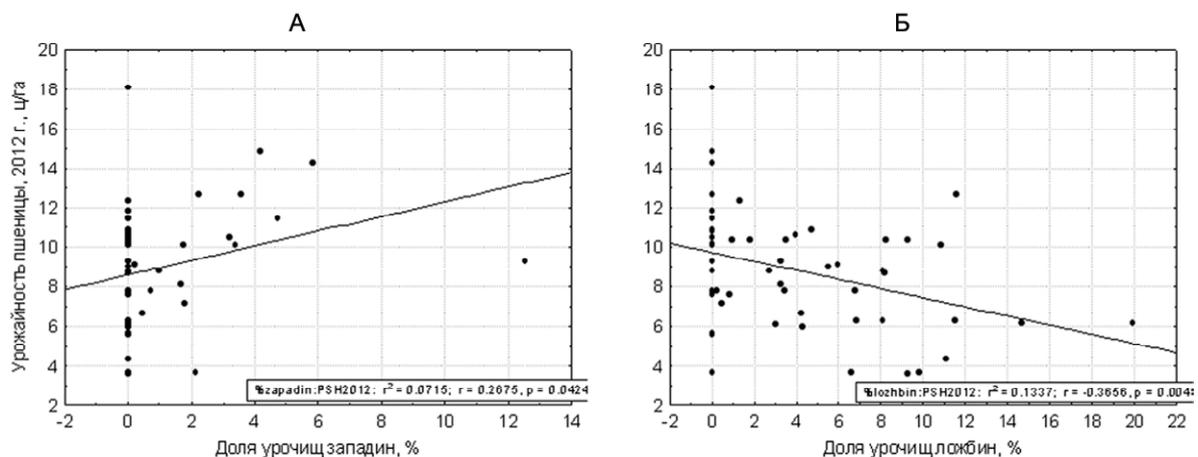


Рис. 4. Зависимость урожайности пшеницы в 2012 г. от доли западин (А) и ложбин (Б) от площади полевого участка на участке «Капитоновка», Акмолинская область

Fig. 4. Dependence of wheat productivity in 2012 on the proportion of depressions (А) and narrow gullies (Б) in relation to field area. «Kapitonovka», Akmolinsk region

нодоминантной ландшафтной структуре, наименьшая – на полях с западинами. Наибольшая встречаемость полей с низкой урожайностью наблюдается при доле ложбин более 10%. При большой доле западин и минимальной доле других субдоминантных урочищ поля не могут попадать в группу с устойчиво низкой урожайностью, но изменчивость урожайности высокая, что связывается с повышенной зависимостью от погодных условий года. Поля на плоских поверхностях без ложбин имели в 2010, 2012, 2013 гг. тем большую урожайность, чем большую долю поверхности занимали замкнутые западины (с разницей в 2–3 раза). Однако в 2011 г. с оптимальными погодными условиями и максимальной средней урожайностью рост доли западин не давал заметного прироста урожайности. Стабильно средняя урожайность наиболее характерна для полей с небольшой долей ложбин (до 8%). При доле ложбин 10–22% повышается риск минимальных урожаев. Поля со значительными колебаниями урожайности от года к году чаще всего встречаются либо на плоских поверхностях, либо при доле ложбин до 8%. При доле ложбин более 10% в годы с любыми погодными условиями наличие на поле еще и западин способствовало повышению урожайности. В годы с низкой урожайностью (2010, 2012, 2013) доля ложбин более 10% исключала урожайность выше средней, в отличие от полей с меньшей долей ложбин. При максимальной урожайности прохладного и влажного 2011 г., наоборот, высокая доля ложбин способствовала высокой урожайности выше средней на всех полях. Среди полей с низкой долей ложбин (менее 8%) при повышенной доле западин урожайность была ниже, чем при отсутствии западин.

Обсуждение результатов. Урожайность зерновых культур в степях Северного Казахстана зависит от количественного соотношения урочищ, способных рассеивать либо накапливать влагу. Ландшафтной структурой полевых участков в большой степени определяется как пространственная, так и временная вариабельность урожайности пшеницы. Полученные результаты позволяют представить механизмы зависимости продуктивности от ландшафтной структуры.

В степных ландшафтах континентальных регионов с характерным риском засух и высокой зависимостью урожайности от влажности почв принципиальное значение имеет распределение снежного покрова, который контролирует глубину промерзания почв, время готовности почв к посеву, обеспеченность почв влагой на жаркий период. Сдувание снега зимой в понижения может иметь негативное значение для урожайности плоских и выпуклых участков. Если отрицательные формы рельефа незамкнуты (то есть представляют собой эрозионные формы), то накопившийся за зиму снег весной быстро уходит по ним с полей по еще не оттаявшей почве: механизм задержки снеговой влаги на летний период отсутствует. В период весеннего снеготаяния вынос с полей влаги по ложбинам может одновременно вызывать дефицит элементов минераль-

ного питания, внесенных с удобрениями. Поэтому наличие ложбин в пределах слабонаклонного полевого участка (более 10% его площади) является значимым фактором снижения урожайности. С другой стороны, возможен и позитивный микроклиматический эффект: повторяемость заморозков на полях зависит от наличия, количества и размеров ложбин, способных принять холодный воздух и отвести его ниже по рельефу в долины. Видимо, это одна из причин, по которой в наиболее прохладном 2011 г. урожайность выше средней наблюдалась на всех полях с долей ложбин более 10%, а при меньшей доле ложбин варьировала в значительно более широком диапазоне значений.

Замкнутые понижения (западины) способны накапливать снеговую влагу, что поддерживает благоприятный уровень грунтовых вод в соседних распахиваемых урочищах при отсутствии явных уклонов. Это происходит за счет диффузии вод из западин. Это один из важных механизмов латеральных связей, создающий эмерджентный эффект для группы урочищ в пределах полевого участка. Наличие западин на полях не гарантирует стабильно высокий урожай. Однако в случае засушливого лета дополнительный запас влаги обеспечивает повышение урожайности по сравнению с полями без западин. Во влажные прохладные годы (что в целом благоприятно для земледелия в Казахстане) этот эффект не столь заметен. В экстремально влажный год при большой доле западин урожайность может даже снижаться за счет фильтрации избыточной влаги за их пределы. Если в западинах присутствуют озера, то, как правило, близ озер наблюдаются комплексы засоленных почв, которые негативно влияют на урожайность пшеницы. При повышенной доле солонцовых западин урожайность как мягкой, так и твердой пшеницы сильно снижается.

Наиболее благоприятные условия для стабильно высоких показателей урожайности твердой пшеницы преимущественно складываются на полях с доминированием урочищ плоской, местами волнистой равнины без солонцов и западин, однако сам факт плоского рельефа не означает обязательности высокой урожайности.

Выводы:

– пространственная и временная изменчивость урожайности пшеницы в степях Северного Казахстана определяется ландшафтной структурой полей; латеральное взаимодействие урочищ создает эмерджентный эффект накопления или оттока влаги;

– наличие западин на плоских поверхностях обеспечивает накопление влаги в периоды снеготаяния и летних дождей и диффузию ее на примыкающие урочища, что способствует увеличению урожайности в засушливые годы, но может уменьшать ее во влажные годы;

– повышенная доля ложбин на слабологих склонах вызывает отток дефицитной влаги и элементов минерального питания в весенний период и способствует уменьшению урожайности в засушливые годы;

– сложная ландшафтная структура на полях с повышенной долей западин или ложбин способствует росту межгодовой изменчивости урожайности;

поля с плоским рельефом без субдоминантных урочищ чаще характеризуются более стабильно высокой урожайностью.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00447). Авторы благодарят сотрудников сельхозформирования Журавлевка-1 и ТОО «Сарыагаш» за предоставленные данные по урожайности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдулвалеев Р.Р., Троц В.Б.* Влияние рельефа на режим увлажнения почвы и урожайность яровой пшеницы и ячменя // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 3. С. 57–60.
- Бараев А.И., Зайцева А.А., Госсен Э.Ф.* Борьба с ветровой эрозией почв. Алма-Ата: Казсельхозгиз, 1963. 35 с.
- Власенко А.Н., Добротворская Н.И.* Адаптивно-ландшафтные системы земледелия (опыт проектирования) // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2013. № 1. С. 136–142.
- Внутрипольная пестрота почвенного покрова и урожайность в центре Черноземной зоны России. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. С. 330–362.
- Воропаев В.В., Лекомцев П.В., Якушева О.И.* Управление продуктивностью и качеством зерна яровой пшеницы на фоне почвенной неоднородности // *Методическое и экспериментальное обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия*. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН. 2007. 264 с.
- Капустянич С.Ю.* Ландшафтный подход в оценке агроценоза яровой пшеницы // *Пермский аграрный вестник*. 2014. № 2(6). С. 18–23.
- Капустянич С.Ю., Добротворская Н.И.* Микроклимат почв и урожайность яровой пшеницы в плакорном микрозападном агроландшафте // *Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та*. 2011. № 2(88). С. 32–35.
- Капитанов А.Н.* Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия // *Земледелие*. 1992. № 4. С. 2–5.
- Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.
- Куст Г.С., Розов С.Ю., Кутузова Н.Д.* Агрогенная деградация черноземов как причина развития почвенной засухи, снижающей продуктивность сельскохозяйственных культур // *Аридные экосистемы*. 2010. Т. 16. № 1(41). С. 16–27.
- Лопырев М.И.* Основы агроландшафтоведения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995. 182 с.
- Половинко В.В.* Ландшафтно-экологические основы оптимизации землепользования на разных иерархических территориальных уровнях его организации. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Белгород, 2010. 23 с.
- Усовершенствованные теоретические и практические основы формирования пространственно-дифференцированных технологий точного земледелия. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2010. 65 с.
- Хорошев А.В.* Географическая концепция ландшафтного планирования // *Изв. РАН. Сер. географическая*. 2012. № 4. С. 103–112.
- Шарый П.А., Рухович О.В., Шарая Л.С.* Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта // *Агрохимия*. 2011. № 11. С. 57–81.
- Шнедт А.А., Никитина В.И.* Агрохимические свойства чернозема и продуктивность зерновых культур в условиях микрорельефа // *Аграрный вестник Урала*. 2008. № 7(49). С. 36–38.
- Шнедт А.А., Пурлаур В.К.* Влияние мезорельефа на урожайность и качество зерновых культур // *Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та*. 2008. № 5(43). С. 18–22.
- Якушева О.И.* Влияние внутрипольной почвенной неоднородности и уровня интенсификации агротехнологий на урожайность яровой пшеницы. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. СПб, 2013. 24 с.

Поступила в редакцию 08.09.2017
Принята к публикации 28.12.2017

A.V. Khoroshev¹, K.A. Tkach², D.U. Murtazina³

INFLUENCE OF LANDSCAPE PATTERN ON PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS IN THE STEPPE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN

The research provides rationales for relevance of the concept of emergent effects that arise as a result of interaction between landscape units under agricultural planning. We test the hypothesis that proportion of dominant and subdominant landscape units within a model area controls the productivity of grain crops and its interannual dynamics. For two areas in the moderately dry steppes of Northern Kazakhstan we studied effects of synergetic interactions between units of flat surfaces, depressions and narrow gullies which result in a groundwater level ensuring abundant, optimum or insufficient humidity on fields. Correlation coefficients between productivity and share of each subdominant unit type were calculated. Dependence of productivity and its temporal variability on the classes of landscape pattern was revealed. Occurrence of depressions on flat surfaces ensures water accumulation and its expansion to adjacent units. This favors

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: avkh1970@yandex.ru

² International science complex «Astana», Kazakhstan, Junior Scientific Researcher; *e-mail*: karinatkach@mail.ru

³ University of Tennessee, Knoxville, USA, PhD student; *e-mail*: murtazinadiliya@gmail.com

productivity increase in dry years but can result in its decrease in wet years. High occurrence of narrow gullies on gentle slopes causes water and nutrients output in spring resulting in the productivity decrease in dry years. Mosaic landscape pattern at fields with a higher share of depressions or low gullies favors the increasing variability of productivity.

Key words: steppe, landscape, spatial pattern, proportions, grain crops, productivity, variability, humidity.

Acknowledgments. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 17-05-00447). We are grateful to the employees of Saryagash and Zhuravlyovka-1 agricultural firms for providing the data on crop yields.

REFERENCES

- Abdulvaleev R.R., Troc V.B.* Vliyanie rel'efa na rezhim uvlazhneniya pochvy i urozhajnost' yarovoj pshenicy i yachmenya [Influence of topography on the regime of soil humidity and the yields of summer wheat and barley] // *Zernovoe hozjajstvo Rossii*. 2015. № 3. S. 57–60 (in Russian).
- Baraev A.I., Zajceva A.A., Gossen Je.F.* Bor'ba s vetrovoj eroziej pochv. [Fight against soil deflation]. Alma-Ata, 1963. 35 s. (in Russian).
- Kapustjanchik S.Ju.* Landshaftnyj podhod v ocenke agrocenoza yarovoj pshenicy [Landscape approach in the assessment of summer wheat agrocoenosis] // *Permskij agrarnyj vestnik*. 2014. № 2(6). S. 18–23 (in Russian).
- Kapustjanchik S.Ju., Dobrotvorskaya N.I.* Mikroklimat pochv i urozhajnost' yarovoj pshenicy v plakornom mikrozapadinnom agrolandshafte [Soil microclimate and productivity of summer wheat in a flat interfluvial agrolandscape with microdepressions] // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011. № 2(88). S. 32–35 (in Russian).
- Kashtanov A.N.* Konceptiya landshaftnoj konturno-meliorativnoj sistemy zemledeliya. [Concept of landscape-based contour-amelioration system of agriculture] // *Zemledelie*. 1992. № 4. S. 2–5 (in Russian).
- Khoroshev A.V.* Geograficheskaya koncepciya landshaftnogo planirovaniya [Geographical concept of landscape planning] // *Izv. RAN. Ser. geograficheskaya*. 2012. № 4. S. 103–112 (in Russian).
- Kiryushin V.I.* Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovanie agrolandshaftov. [Theory of landscape-adaptive agriculture and agrolandscape design]. M.: KolosS, 2011. 443 s. (in Russian).
- Kust G.S., Rozov S.Ju., Kutuzova N.D.* Agrogennaya degradaciya chernozyomov kak prichina razvitiya pochvennoj zasuhi, snizhayushhej produktivnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Agriculture-induced degradation of chernozems as a reason for development of soil draught suppressing the productivity of agricultural crops] // *Aridnye ekosistemy*. 2010. T. 16. № 1(41). S. 16–27 (in Russian).
- Lopyrev M.I.* Osnovy agrolandshaftovedeniya. [Fundamentals of agrolandscape science]. Voronezh: Izd-vo VGU, 1995. 182 s. (in Russian).
- Polovinko V.V.* Landshaftno-ekologicheskie osnovy optimizacii zemlepol'zovaniya na raznyh ierarhicheskikh territorial'nyh urovnyah ego organizacii. [Landscape-ecological fundamentals of land use optimization at the different hierarchical territorial levels of its organization]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Belgorod, 2010. 23 s. (in Russian).
- Sharyj P.A., Ruhovich O.V., Sharaya L.S.* Metodologiya analiza prostranstvennoj izmenchivosti harakteristik urozhajnosti pshenicy v zavisimosti ot uslovij agrolandshafta [Methodology of analysis of spatial variability in wheat productivity depending on the agrolandscape conditions] // *Agrohimiya*. 2011. № 11. S. 57–81 (in Russian).
- Shpedt A.A., Nikitina V.I.* Agrohimicheskie svojstva chernozema i produktivnost' zernovyh kul'tur v usloviyah mikrorel'efa [Agrochemical properties of chernozem and productivity of grain crops under microrelief conditions] // *Agrarnyj vestnik Urala*. 2008. № 7(49). S. 36–38 (in Russian).
- Shpedt A.A., Purlaur V.K.* Vliyanie mezorel'efa na urozhajnost' i kachestvo zernovyh kul'tur [Influence of mesorelief on productivity and quality of grain crops] // *Vestnik Altajskogo gos. agrarnogo unta*. 2008. № 5(43). S. 18–22 (in Russian).
- Usovershenstvovannye teoreticheskie i prakticheskie osnovy formirovaniya prostranstvenno-differencirovannyh tehnologij tochnogo zemledeliya. [Improved theoretical and practical basics of spatially-differentiated technologies of precise agriculture]. Kursk: VNIIZiPJe RASHN, 2010. 65 s. (in Russian).
- Vlasenko A.N., Dobrotvorskaya N.I.* Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya (opyt proektirovaniya) [Landscape-adaptive systems of agriculture (design experience)] // *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*. 2013. № 1. S. 136–142 (in Russian).
- Vnutripol'naya pestrota pochvennogo pokrova i urozhajnost' v centre Chernozemnoj zony Rossii. [Intra-field mosaics of soil cover and productivity in the centre of the Chernozem zone of Russia]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2000. S. 330–362 (in Russian).
- Voropaev V.V., Lekomcev P.V., Yakusheva O.I.* Upravlenie produktivnost'yu i kachestvom zerna yarovoj pshenicy na fone pochvennoj neodnorodnosti [Management of productivity and grain quality of summer wheat under soil heterogeneity] // *Metodicheskoe i eksperimental'noe obespechenie adaptivno-landshaftnyh sistem zemledeliya*. SPb.: Izd-vo PIJAF RAN. 2007. 264 s. (in Russian).
- Yakusheva O.I.* Vliyanie vnutripol'noj pochvennoj neodnorodnosti i urovnya intensifikacii agrotehnologij na urozhajnost' yarovoj pshenicy. [Influence of intra-field soil heterogeneity and level of agrotechnology intensification on productivity of summer wheat]. Avtoref. diss. ... kand. s.-h. n. SPb, 2013. 24 s. (in Russian).

Received 08.09.2017

Accepted 28.12.2017